

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-151000

(43)Date of publication of application : 30.05.2000

(51)Int.Cl.

H01S 3/13
G02F 2/02
H01S 5/068

(21)Application number : 10-315542

(71)Applicant : ANRITSU CORP
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 06.11.1998

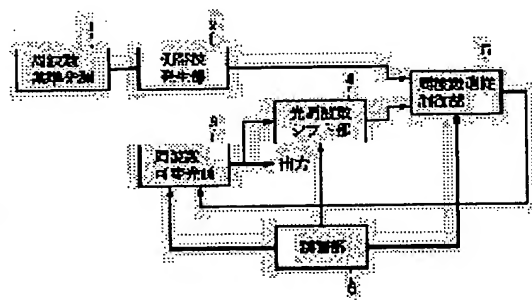
(72)Inventor : MACHITORI SEIHAN
TEJIMA MITSUHIRO

(54) VARIABLE FREQUENCY LASER LIGHT SOURCE DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To avoid a dead zone in a state where the frequency of COM signal light is fixed by controlling the frequency of the output light of a variable frequency light source based on frequency-shifted light and heterodyne signals obtained from side-band waves.

SOLUTION: A side-band wave generating section 2 is made to generate many side-band waves of known frequencies by inputting the output light of a reference-frequency light source 1 which is a frequency-stabilized light source using the absorption lines of atoms or molecules as a reference frequency to the section 2 and the side-band waves are outputted to a frequency follow-up control section 5. Part of the output light of a variable frequency light source 3 is inputted to an optical frequency shifting section 4 and the section 4 outputs 0-order light and +1-order light to the control section 5 by shifting the frequency of the output light. The control section 5 multiplexes the output light of the side-band wave generating section 2 upon that of the optical frequency shifting section 4, outputs heterodyne signals to the variable frequency light source 3 by photoelectrically converting the multiplexed light, and controls the frequency of the output light of the light source 3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

11.04.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]	3568801
[Date of registration]	25.06.2004
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-151000

(P2000-151000A)

(43) 公開日 平成12年5月30日 (2000.5.30)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 S 3/13		H 0 1 S 3/13	2 K 0 0 2
G 0 2 F 2/02		G 0 2 F 2/02	5 F 0 7 2
H 0 1 S 5/068		H 0 1 S 3/18	6 3 6 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-315542

(22) 出願日 平成10年11月6日 (1998.11.6)

(71) 出願人 000000572

アンリツ株式会社

東京都港区南麻布5丁目10番27号

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 待鳥 誠範

東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリツ株式会社内

(74) 代理人 100071711

弁理士 小林 将高

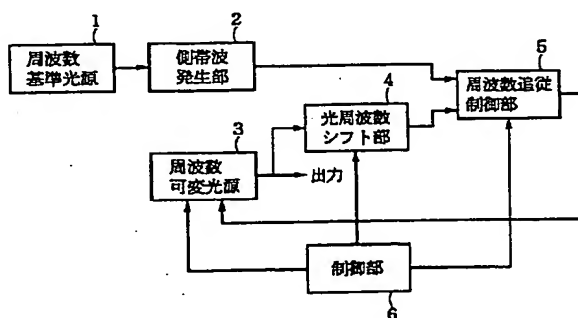
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 周波数可変レーザ光源装置

(57) 【要約】

【課題】 周波数基準光の複数の側帯波と、周波数可変光源とのヘテロダイン信号を、オフセット周波数と比較して制御する場合に生ずるデッドゾーンの問題点を解決し、①出力光の周波数確度、周波数安定度、設定分解能に優れ、②周波数(波長)可変範囲が広く、かつ、③前記周波数可変範囲内で任意に周波数を設定または掃引できる周波数可変レーザ光源装置を提供する。

【解決手段】 周波数基準光をもとに側帯波を発生させ、周波数可変光源の出力光の一部について、その周波数を適宜シフトできるようにしておき、この周波数シフトした光と前記側帯波から得られるヘテロダイン信号に基づいて周波数可変光源の出力光の周波数を制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 周波数基準光を出力する周波数基準光源 (1) と、

該周波数基準光源からの光を受けて、該周波数基準光の複数の側帯波を有する光を発生する側帯波発生部 (2) と、

光周波数が制御可能とされた周波数可変光源 (3) と、
該周波数可変光源の出力光を入力光として受けて、前記入力光を変調し、光周波数が前記入力光の光周波数より第 1 の所定幅シフトした第 1 のシフト光および前記入力光の光周波数より第 2 の所定幅シフトした第 2 のシフト光のうち一方を選択して出力する光周波数シフト部 (4) と、

オフセット周波数が可変であり、前記側帯波発生部が出力する複数の側帯波を有する光と前記光周波数シフト部の出力光とから得られるヘテロダイン信号の周波数が設定されたオフセット周波数になるように前記周波数可変光源の周波数追従制御を行うとともに、前記周波数追従制御の制御極性が切り換え可能である周波数追従制御部 (5) と、

前記周波数可変光源の出力を所望の周波数とするために、前記周波数追従制御部のオフセット周波数および制御極性を設定し、かつ、前記光周波数シフト部のシフト光の選択を制御する制御部 (6) とを備え、もって、前記周波数可変光源の出力光を出力光とすることを特徴とする周波数可変レーザ光源装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光通信、光計測分野で利用されるレーザ光源装置に係り、特に出力光の周波数が広帯域にわたり可変であり、かつ出力光の周波数精度、周波数安定度に優れた周波数可変レーザ光源装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 出力光の周波数精度、周波数安定度に優れたレーザ光源装置を構成するための要素技術については、①周波数基準光源、②波長可変光源、③周波数追従制御、④広帯域側帯波発生手段 (光周波数コム発生器、短光パルス光源、等) の各技術が知られている。

【0003】 まず最初に、この各々について簡単に説明する。

【0004】 ①周波数基準光源としては、原子や分子の吸収線などを周波数基準として半導体レーザ (以下、LD という。LD: laser diode) や固体レーザの発振周波数を安定化したものおよび気体レーザなどが一般的である。

【0005】 ②波長可変光源としては、LD または固体レーザと回折格子などの波長選択素子とを組み合わせた外部共振型光源や DFB-LD (distributed feedback-laser diode)、DB

R-LD (distributed Bragg reflector-laser diode) 等の LD 内部に波長選択素子を取り込んだものが一般的である。当然、このような光源単体では周波数精度や長期の周波数安定度が保証されない。

【0006】 ③周波数追従制御は、1 台のレーザ (マスターレーザ) の出力光周波数に追従するように他のレーザ (スレーブレーザ) の出力光周波数を制御するものである。LD は注入電流によって発振周波数を直接制御できるため、LD をスレーブレーザとして用い、通常、マスターレーザとスレーブレーザとの出力光を合波、受光してビート信号を検出し、その周波数が設定した周波数 (オフセット周波数) と一致するようにスレーブレーザの注入電流を制御する。この制御によってスレーブレーザの出力光周波数はマスターレーザの出力光周波数に対して設定した周波数だけ隔たるため、この制御は光周波数オフセットロック制御とも呼ばれる。ビート信号から得られる情報は 2 つのレーザ光の周波数差の絶対値であるから、オフセット周波数を 0 に近づけると制御の誤動作を招く。制御の方法によって、マスターレーザの出力光周波数に対するスレーブレーザの出力光周波数の高低、すなわち、オフセット周波数の符号は正負いずれかに設定できる。また、ビート信号を生成する受光系の帯域などからオフセット周波数の上限は高々 100 GHz₂ である。市販の受光素子などを用いる場合、受光や増幅が容易に行える帯域は数 GHz₂ までである。

【0007】 ④広帯域側帯波発生手段としては、光周波数コム発生器、短光パルス光源、等がある。

【0008】 光周波数コム発生器 (以下、コム発生器という) は、入力されたレーザ光に対して深い変調をかけて、周波数軸上に変調周波数間隔で数 100 本以上の側帯波を発生させて出力する。変調周波数は通常数 GHz₂ ~ 20 GHz₂ 程度に設定され、数 TH₂ 以上にわたって利用可能な強度の側帯波が得られる。入力光の周波数および変調周波数が既知であれば、各側帯波の周波数も既知となるから、各側帯波もまた周波数基準光として用いることができる。

【0009】 短光パルス光源は、光共振器の内部に光増幅媒体と光を変調する手段 (可飽和吸収体、光強度変調器、光位相変調器など) とを有しており、パルス時間幅が 10 p s 程度以下の光を所定の周期で繰り返し出力するものである。この出力光は光パルスの繰り返し周波数間隔をもつ多数の側帯波を含んでいる。特に一般的な強制モード同期による短光パルス光源は、光強度変調器を内蔵しており、マイクロ波によって光強度変調器を駆動することにより、このマイクロ波に同期した光パルス列を発生する。

【0010】 このため、側帯波の周波数間隔は駆動するマイクロ波のもつ高い周波数精度と高安定度を有しており、この点ではコム発生器を利用する場合と同様であ

る。

【0011】しかしながら、短光パルス光源は、その内部に光周波数基準をもたないため、各側帯波の周波数は（強制モード同期の場合、間隔は一定に保たれるが）時間的に変動してしまう。そこで、短光パルス光源を利用して広帯域に周波数基準光を発生するためには、周波数が既知の光を用意して、光注入同期現象または周波数追従制御を用いる。光注入同期現象は自励発振しているLDに、その発振周波数に近い周波数をもつ光を外部から注入するとLDの発振周波数が、注入された光の周波数に引き込まれて、一致する現象である。短光パルス光源でも同様に、出力光に含まれる低次の側帯波に近い周波数をもつ光を注入すると、この側帯波の周波数が、注入された光の周波数に引き込まれる。したがって、強制モード同期による短光パルス光源では、注入される光の周波数が既知であれば、各側帯波の周波数も既知となる。

【0012】また、周波数追従制御は前述の通り、参照される光の周波数に他のLD等の発振周波数を（オフセット周波数をもって）追従させるものであるから、強制モード同期による短光パルス光源でも同様に周波数が既知の光を参照光として或る側帯波の周波数を追従させれば、各側帯波の周波数も既知となる。

【0013】このように周波数基準光源と組み合わせて使用すれば、コム発生器と短光パルス光源とは同等な側帯波発生手段といえる。

【0014】コム発生器の出力光（以下、「コム信号光」という。）や短光パルス光源の出力光は他の光とのヘテロダイン検波によって利用されるため、ビート信号のSN比を高くするためには、入力光あるいは参照光のスペクトル線幅が狭いほど有利である。このために入力光源として外部共振型LD光源や自己注入同期LD光源が用いられることが多い。

【0015】なお、ここでいう広帯域に側帯波を発生する手段は周波数軸上で等間隔に側帯波を発生するものを意味しているので、コム発生器の出力や短光パルス光源の出力に対してパルス圧縮を施したものなども含まれる。

【0016】これらは本質的には同様の取り扱いが可能のため、以下の説明では主としてコム発生器の場合について述べる。

【0017】次に、以上の要素技術を組み合わせた従来の周波数精度、周波数安定度に優れた周波数可変な光源について図7を参照して説明する。

【0018】図7は、従来の周波数可変レーザ光源装置の構成を示す図で、①周波数基準光源、②波長可変光源、③周波数追従制御を組み合わせたものである。これは、周波数基準光源11をマスタ光源とし、周波数可変光源31をスレーブ光源として周波数追従制御を施した系である。周波数基準光源11からの周波数基準光とスレーブ光源部30の周波数可変光源31からの出力光は

周波数追従制御手段33の合波器331で合波され、受光器332で受光されてそのビート信号が検出される。検出されたビート信号とオフセット周波数発振器334からの信号は位相比較器333で位相比較され、その結果はループフィルタ335を経由して駆動電流源337からの電流に加算器336で加算され周波数可変光源31であるLDに供給される。このように制御されることで、出力光は周波数基準光に対してオフセット周波数発振器334で設定されたオフセット周波数をもって追従する。この系ではスレーブ光源部30の出力光周波数を高精度、高安定度を維持しながら連続的に変化させることができるが、周波数可変幅は受光系を含む周波数追従制御の帯域までに制限され、高々100GHz（1.5μm帯では波長帯域として1nm弱）が限界である。

【0019】この点に鑑みて、コム発生器などの利用が提案され、実験的に動作が確認されている。そして、この④広帯域な側帯波発生技術の一つである光周波数コム発生技術の前記3つの技術に加えたもの、すなわち、周波数基準光をコム発生器に入力して得られたコム信号光に含まれる多数の側帯波は周波数基準光とすることができるため、任意の次数Nの側帯波を基準として周波数可変光源に周波数追従制御を施す系が考えられた。この構成を図8に示す。

【0020】図8は、コム発生器を用いた従来の周波数可変レーザ光源装置の構成を示す図である。この例は、図7の例において、周波数基準光源11と合波器331の間に、コム発生器21と発振器22とを備えたコム発生部20を挿入したものである。

【0021】コム発生器21は周波数基準光源11からの周波数基準光を受けて、発振器22の発振周波数で変調して、発振周波数の間隔で発生された多数の側帯波を周波数追従制御手段33に出力する。周波数追従制御手段33では、前記側帯波のうちの任意の次数Nの側帯波が周波数基準光として使われる。この系では、周波数追従制御手段33のオフセット周波数を変化させることで出力光の周波数を変化させている。

【0022】この系では、広帯域にわたり高精度、高安定度をもつ光を発生することができるものの、広帯域な周波数範囲内で任意の周波数を発生することはできない。これは2種類のデッドゾーンの存在による。

【0023】このデッドゾーンを図9を参照して説明する。図9は、側帯波を周波数基準として用いて出力光を設定、掃引するときの問題となるデッドゾーンを説明するための図であり、(a)は側帯波近傍での問題点を説明するための図、(b)は隣接する側帯波間の中央付近での問題点を説明するための図、(c)は2つのデッドゾーンを示す図である。2つのうちの1つは、図9

(a)に示すように、周波数追従制御を行う際に、オフセット周波数を0に近づけることができないためである。つまり、ある次数Nの側帯波とスレーブ光源である

周波数可変光源の周波数がほぼ一致すると適正な周波数追従制御ができなくなる。さらに、オフセット周波数が 10MHz 以下になると、周波数追従制御系の $1/f$ 雑音が顕著になるため望ましくない。他の1つは、図9

(b) に示すように、光周波数コム発生器や短光パルス光源を利用する場合、多数の側帯波が周波数軸上に林立するため、 N 次側帯波と $(N+1)$ 次側帯波間の中央に周波数可変光源の周波数がほぼ一致すると受光信号には N 次側帯波とのビート信号と $(N+1)$ 次側帯波とのビート信号がほぼ同一の周波数で混在し、適正な周波数追従制御ができなくなる。図9(c) に示すように、前記2種類のデッドゾーンの周波数幅の目安は適当な余裕を見込めば、側帯波付近のデッドゾーンで 20MHz 程度、側帯波間の中央付近のデッドゾーンで数 100MHz 程度である。

【0024】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、周波数基準光の複数の側帯波と周波数可変光源とのヘテロダイン信号を、オフセット周波数と比較して周波数可変光源の周波数を制御する場合に生じるデッドゾーンの問題点を解決し、①出力光の周波数精度、周波数安定度、設定分解能に優れ、②周波数(波長)可変範囲が広く、かつ、③前記周波数可変範囲内で任意に周波数を設定または掃引できる周波数可変レーザ光源装置を提供するものである。前記①でいう高精度、高安定度、高分解能の目安は各々 100MHz 、 10^{-9} 乗、 1MHz 以下である。また、前記②でいう広帯域の最低の目安は $1.5\mu\text{m}$ 帯で 10nm 以上である。 $(1.5\mu\text{m}$ 帯では周波数幅 1THz が波長幅 8nm に相当する。以下、波長幅に関する表記は $1.5\mu\text{m}$ 帯での値とする)。

【0025】さらに近年、通信すべき情報量の拡大に伴い WDM (Wavelength Division Multiplexing; 波長分割多重) 光通信技術が模索されており、複数の所定周波数の光を同時に出力する光源が望まれている。この要請を考慮すれば、1つのコム信号光を発生して、これに含まれる任意の側帯波を基準として、複数の周波数可変光源を独立に周波数設定できる構成をとることが望ましい。このためには、コム信号光の周波数を固定した状態で、デッドゾーンを回避する手段を実現する必要がある。

【0026】

【課題を解決するための手段】周波数基準光をもとに側帯波を発生させ、周波数可変光源の出力光の一部について、その周波数を適宜にシフトできるようにしておき、この周波数シフトした光と前記側帯波から得られるヘテロダイン信号に基づいて周波数可変光源の出力光の周波数を制御することとした。すなわち、本発明に係る周波数可変レーザ光源装置は、周波数基準光を出力する周波数基準光源1と、該周波数基準光源からの光を受けて、該周波数基準光の複数の側帯波を有する光を発生する側

帯波発生部2と、光周波数が制御可能とされた周波数可変光源3と、該周波数可変光源の出力光を入力光として受けて、前記入力光を変調し、光周波数が前記入力光の光周波数より第1の所定幅シフトした第1のシフト光および前記入力光の光周波数より第2の所定幅シフトした第2のシフト光のうち一方を選択して出力する光周波数シフト部4と、オフセット周波数が可変であり、前記側帯波発生部が出力する複数の側帯波を有する光と前記光周波数シフト部の出力光とから得られるヘテロダイン信号の周波数が設定されたオフセット周波数になるように前記周波数可変光源の周波数追従制御を行うとともに、前記周波数追従制御の制御極性が切り換え可能である前記周波数追従制御部5と、前記周波数可変光源の出力を所望の周波数とするために、前記周波数追従制御部のオフセット周波数および制御極性を設定し、かつ、前記光周波数シフト部のシフト光の選択を制御する制御部6とを備え、もって、前記周波数可変光源の出力光を出力光とするものである。

【0027】たとえば、デッドゾーンの幅が 200MHz 、未満である場合に、前記第1の所定幅を0、前記第2の所定幅を 200MHz と定める。

【0028】まず、周波数シフト部が第1の所定幅シフトした出力光を選択しているときに、周波数可変光源の出力光周波数をデッドゾーン外部のある周波数に設定する場合には、そのまま、第1の所定幅だけ周波数シフトした光(この例ではシフト幅0で周波数可変光源の出力光そのもの)をヘテロダイン検波に利用する。

【0029】一方、周波数シフト部が第1所定幅シフトした出力光を選択しているときに、周波数可変光源の出力光周波数をデッドゾーン内部のある周波数に設定する場合には、第2の所定幅だけ周波数シフトした光をヘテロダイン検波に利用する。第2の所定幅(第1の所定幅との差)を、デッドゾーンの幅よりも大きく設定しているから、周波数シフトした光は必ずデッドゾーン外部の周波数をもつ。

【0030】したがって、このような手段によって、常にデッドゾーン外部の周波数をもつ光を使った周波数追従制御が実現される。また、この手段は、周波数が固定された側帯波を基準として、デッドゾーンを回避するものであるため、複数の周波数可変光源の周波数を互いに独立に設定することは容易である。

【0031】

【発明の実施の形態】図1および図2を参照して、本発明に係る周波数可変レーザ光源装置の実施の形態を説明する。

【0032】図1は、本発明の第一の実施の形態の周波数可変レーザ光源装置を示す図である。

【0033】図1において、周波数可変レーザ光源装置は、周波数基準光源1、側帯波発生部2、周波数可変光源3、光周波数シフト部4、周波数追従制御部5および

制御部6で構成されている。

【0034】周波数基準光源1は、原子や分子の吸収線を周波数基準とした周波数安定化光源である。側帯波発生部2は、周波数基準光源1の出力光を入力光として、既知周波数の側帯波を多数発生する。周波数可変光源3は、側帯波発生部2の側帯波を周波数基準光として周波数追従制御されるレーザ光源である。この周波数可変光源3の出力光の一部が本発明の周波数可変レーザ光源装置の出力光となる。

【0035】光周波数シフト部4は、周波数可変光源3の出力光の一部を受け、その周波数をシフトして出力する。この周波数シフト量は少なくとも2通りに切り換えることができる。

【0036】周波数追従制御部5は、側帯波発生部2の出力光と光周波数シフト部4の出力光を受け、そのヘテロダイン信号が所定のオフセット周波数となるように周波数可変光源3に対する制御信号を出力する。制御部6は、所望の出力光周波数に応じて、周波数可変光源3に対する出力周波数の粗調整のための信号、光周波数シフト部4に対する周波数シフト量設定信号、周波数追従制御部5に対するオフセット周波数設定信号などを出力する。

【0037】このように光周波数シフト部4を含む構成によって、前述の通り、常にデッドゾーン外部に位置する周波数の光に由来するヘテロダイン信号に基づいて、周波数可変光源3の周波数追従制御が実現され、デッドゾーンが回避される。

【0038】図2は、本発明の第二の実施の形態の周波数可変レーザ光源装置を示す図である。

【0039】図2において、周波数可変レーザ光源装置は、周波数基準光源1、側帯波発生部2、分波器7および2組の周波数可変光源3a、3b、光周波数シフト部4a、4b、周波数追従制御部5a、5b、制御部6a、6bとからなっている。

【0040】周波数基準光源1および側帯波発生部2は、第一の実施の形態と全く同様である。

【0041】周波数可変光源3、光周波数シフト部4、周波数追従制御部5および制御部6は、3a～6a、3b～6bの2組があり、その各々は第一の実施の形態と同様である。

【0042】分波器7は、側帯波発生部2の出力光を分岐して、周波数追従制御部5a、5bに入力するためのものである。

【0043】この構成では、各周波数可変光源3a、3bの周波数追従制御におけるデッドゾーンが回避されるだけでなく、各々の周波数可変光源3a、3bの周波数を互いに独立に設定することができ、WDM光通信などの多出力周波数可変レーザ光源装置として利用できる。

【0044】また、複数の出力光が、一つの周波数基準

光に対して側帯波発生や周波数追従制御を介して安定化されているため、この出力光間の相対的な周波数ゆらぎは、個別に発生させた複数の周波数基準光の間の相対的な周波数ゆらぎに対して2桁程度小さいという特徴を有している。

【0045】本実施の形態では、周波数可変光源等が2組の場合を示したが、3組以上の場合も分波器7を3分岐以上として同様に実施できる。また、各周波数可変光源の出力光周波数が近接しないような用途では、側帯波発生部2からの光を単純に分岐せずに、波長選択性をもつ分岐手段を用いれば、分配損失を抑えられる。

【0046】〔実施例〕図3を参照して、本発明の周波数可変レーザ光源装置の第一の実施例を説明する。

【0047】図3は、本発明の第一の実施例の構成を示す図である。

【0048】本実施例の周波数可変レーザ光源装置は、図3に示すように、周波数基準光源1、側帯波発生部2、周波数可変光源3、光周波数シフト部4、周波数追従制御部5および制御部6によって構成されている。

【0049】周波数基準光源1は、原子や分子の吸収線を周波数基準とした周波数安定化光源である。たとえば、アセチレン分子の1.53μm付近の吸収線を基準として周波数が安定化された半導体レーザなどが利用され、周波数精度、安定度に優れた光を出力する。

【0050】側帯波発生部2は、コム発生器21と該コム発生器21に駆動用のマイクロ波を入力するマイクロ波発振器22とで構成され、周波数基準光源1の出力光を入力光として、既知周波数の側帯波を多数発生する。本実施例では、前記マイクロ波の周波数は4GHzに設定されている。したがって、発生するコム信号光の側帯波の周波数間隔は4GHzである。コム信号光の発生範囲は数THz以上にわたり、その周波数は周波数基準光源1の出力光と同程度の高精度、高安定度をもっている。

【0051】なお、コム発生器21について、入力光周波数に対して最適な条件を得るため、必要に応じて、コム発生器21の共振器長を制御する手段を設けてもよい。

【0052】周波数可変光源3はコム信号光の側帯波を周波数基準光として周波数追従制御される外部共振器型レーザ光源である。この周波数可変光源3の出力光の一部が本発明の周波数可変レーザ光源装置の出力光となる。

【0053】光周波数シフト部4は、音響光学変調器41、発振器42、光スイッチ43で構成されている。音響光学変調器41は、周波数可変光源3の出力光の一部を受け、その周波数をシフトして、0次光および+1次光を出力する。発振器42は音響光学変調器41に所定周波数の駆動信号を入力する。光スイッチ43は音響光学変調器41から出力される0次光（透過光）と+1次

回折光を入力光として、その一方を出力する。

【0054】音響光学変調器41による周波数シフト量、つまり、発振器42の発振周波数は、200MHzに設定されている。また、この周波数シフトは、発振器42の停止および起動により断続でき、光スイッチ43は、この周波数シフトの断続に係り、0次光と+1次回折光の一方を選択して出力する。

【0055】周波数追従制御部5は、合波器51、受光器52、フィルタ(LPF)53、オフセット周波数発振器54および位相比較器55で構成されている。合波器51は、側帯波発生部2の出力光と光周波数シフト部4の出力光とを受け、合波して出力する。受光器52は、その合波された光を光電変換してヘテロダイン信号を出力する。フィルタ53は、このヘテロダイン信号を帯域制限し、側帯波の周波数間隔の1/2以上の高周波成分を抑圧する。本実施例では、側帯波の周波数間隔を4GHz、光周波数シフト部4の周波数シフト量を200MHzとしているから、具体的には1.9GHz以下の周波数成分に対して2.1GHz以上の周波数成分を30dB程度以上抑圧するフィルタを使用する。このフィルタを用いることにより、側帯波の中央付近のデッドゾーンの幅は200MHz未満となる。オフセット周波数発振器54は、制御部6の指令により設定されたオフセット周波数の設定範囲は、0.1~1.9GHzとしている。位相比較器55は、フィルタ53を通過した受光器52からのヘテロダイン信号とオフセット周波数発振器54の出力信号との位相比較を行い、この位相差に基づいた周波数可変光源3への制御信号を出力する。この制御信号の極性および制御信号の断続(出力停止状態と出力状態の切り換え)は、制御部6の指令により設定される。ここでいう制御信号の極性とは、制御信号が電圧として出力される場合についていえば、位相差が大きく*

$$-1.9 \leq f \leq -0.1, \quad 0.1 \leq f \leq 1.9 \text{ [GHz]} \quad \dots (2)$$

と定めている。

【0062】次に、図4を参照して、光周波数シフト部4の動作について説明する。

【0063】図4は、本発明の第一の実施例について周波数設定の原理を示す図である。

【0064】ここで、周波数可変光源3の出力光周波数と基準とするN次側帯波の周波数との差 $\nu - (\nu_r + N \cdot f_m) = f - \Delta f$ を考える。

【0065】周波数シフト量 Δf が0のときには、 $f - \times -2.1 \leq (f - \Delta f) \leq -0.3$, $-2.1 \leq (f - \Delta f) \leq -0.3$, $\text{Hz}] \dots (3)$

である。図4において矢印で示した領域Bは、この範囲を示したものである。したがって、周波数シフト量 Δf を0または+200MHzとして、切り換えて用いれば、領域Aと領域Bとでカバーされる $-2.1 \leq (f - \Delta f) \leq 1.9 \text{ [GHz]}$ の範囲で周波数可変光源3の

* (小さく) になったときに、電圧を増加(減少)させるか、減少(増加)させるか、のいずれかを意味する。この極性を切り換えることによって、周波数可変光源3の出力光周波数が基準とするN次の側帯波の周波数よりも高い場合と低い場合の両方について、負帰還制御を行うことができる。

【0056】制御部6は、所望の出力光周波数に応じて、周波数可変光源3に対して出力光周波数の粗調整のための周波数粗調信号を出力する。また、光周波数シフト部4に周波数シフト量設定信号を出力し、周波数追従制御部5にオフセット周波数設定信号、制御極性設定信号および制御断続設定信号を出力する。

【0057】このように構成された周波数可変レーザ光源装置の動作について説明する。

【0058】周波数基準光源1の出力光周波数すなわち、コム信号光の中心周波数を ν_r 、側帯波の周波数間隔を f_m 、基準としている側帯波次数をN、側帯波に対する周波数可変光源3の出力光周波数をオフセットするオフセット周波数を符号を含めて f 、光周波数シフト部4の周波数シフト量を符号を含めて Δf とすると、周波数可変光源3の出力光周波数 ν は、

【0059】

$$\text{【数1】 } \nu = \nu_r + N \cdot f_m + f - \Delta f \quad \dots (1)$$

と確定する。

【0060】本実施例では、側帯波の周波数間隔を4GHz、光周波数シフト部4の周波数シフト量を+200MHzとしている。また、側帯波の中央付近に位置するデッドゾーンの幅は200MHz未満である。通常、側帯波付近のデッドゾーンの幅はこれよりも狭い。このことから前述のように、オフセット周波数 f が取り得る範囲を、

【0061】

【数2】

※ Δf の範囲は(2)式と同一である。図4において矢印で示した領域Aは、このことを出力光周波数について示したものである。図4では、N次側帯波を基準とするときに、周波数可変光源3の周波数追従制御が可能な範囲を領域Aとして図示している。一方、周波数シフト量 Δf が+200MHzのときには、(2)式から、

【0066】

【数3】

$$-0.1 \leq (f - \Delta f) \leq 1.7 \text{ [G}$$

周波数追従制御が可能となる。この範囲の幅は4GHzであり、側帯波間隔と一致している。つまり、基準とする側帯波の次数を変えれば、側帯波を利用できる数THzの周波数帯域内で、任意の周波数に周波数可変光源3の出力光周波数を設定できる。

【0067】このことから、周波数シフト量 Δf およびオフセット周波数 f の算出の手順は次のようになる。なお、表記していない周波数の単位は全てGHzとする。

【0068】まず、所望の出力周波数 ν が与えられたときに、 $(\nu - \nu_r + 0.1) / f_m$ に最も近い整数 N を算出する。最も近い整数 N が2つ存在する場合は、どちらとしてもよい。ここに、0.1GHzは2つの周波数シフト量 Δf (0, +200MHz)の平均である。このように整数 N 、つまり、基準とする側帯波の次数を定めれば、 $\nu - (\nu_r + N \cdot f_m)$ は、-2.1~1.9GHzの範囲内の値となる。

【0069】そこで、 $\nu - (\nu_r + N \cdot f_m)$ が、領域Aのみに対応する範囲にあれば、周波数シフト量 Δf を0と定め、領域Bのみに対応する範囲にあれば、 Δf を+200MHzと定める。領域Aにも領域Bにも対応する範囲にあるときは、 Δf を、どちらの値としてもよい。

【0070】最後に、この Δf を用いて、 $\nu - (\nu_r + N \cdot f_m) + \Delta f$ を算出して、これをオフセット周波数 f とする。

【0071】次に、周波数設定の手順の一例を説明する。

【0072】周波数基準光源1、側帯波発生部2は稼動しているものとして、まず、周波数追従制御部5の位相比較器55の出力を停止しておき、周波数可変光源3の出力周波数を所望の周波数の近傍まで制御部6の周波数粗調信号によって粗調整する。

【0073】この後に、前述のようにして定めた周波数シフト量 Δf に従って、光周波数シフト部4を制御する。本実施例では Δf が0のときには、発振器42の出力を停止して、音響光学変調器41の0次光(単純な透過光)を光スイッチ43で選択し、 Δf が+200MHzのときには、発振器42を起動して、音響光学変調器41の+1次回折光を光スイッチ43で選択して出力する。このとき、受光器52から出力されるヘテロダイン信号は、前述のようにして算出したオフセット周波数 f に近い周波数となる。

【0074】次いで、オフセット周波数発振器54の出力信号周波数を算出したオフセット周波数 f の絶対値 $|f|$ に設定し、位相比較器55が出力する制御信号の極性をこのオフセット周波数 f の符号に従って設定する。

【0075】最後に、位相比較器55を出力状態として、制御信号を周波数可変光源3に帰還する。以上の操作で周波数追従制御が機能し、周波数可変光源3の出力光周波数は所望の周波数となるよう制御され、その周波数が維持される。

【0076】このように周波数可変光源3の出力光周波数を任意に設定できるため、その設定周波数を順次変化させることによって、例えば、オフセット周波数発振器54を掃引発振させることによって、周波数可変光源3

の出力光周波数を周波数掃引することも可能である。

【0077】なお、周波数可変光源3の粗調整の段階で、この光源の周波数精度が低いために調整が困難な場合には、その出力光の周波数(波長)を波長計で測定しながら制御すればよい。通常、側帯波の周波数間隔は数GHz以上であり、波長計の測定精度は100MHzオーダーであるため、この制御は容易である。

【0078】光周波数シフト部4の光学部は、バルク型の音響光学変調器と光スイッチによって構成しているが、音響光学変調器の回折効率が十分に高ければ、光スイッチの代わりに合波器を用いてもよい。また、導波路型の音響光学変調器や、位相変調器または強度変調器によって得られた側帯波をファブリ・ペロー共振器等を利用して選択する方法なども利用できる。導波路型の音響光学変調器の変調周波数を変化して利用する場合などのように、周波数シフト量を変化しても出力光の光路が変化しないものについては、当然、光スイッチは不要である。

【0079】周波数可変光源3の周波数可変範囲が広い場合には、特にバルク型の音響光学変調器を用いると回折角が変化して、所定の出射方向に対する出力光量が低下する恐れがある。このような場合には変調周波数を調整して、回折角を一定に保つことも可能である。また、通常の音響光学変調器の周波数シフト量は1次当たり200MHz程度までであるが、デッドゾーンの幅がこれより広い場合には、複数の音響光学変調器を用いるか、高次回折光あるいは+1次回折光と-1次回折光の組み合わせ等を利用して実施することができる。

【0080】また、本実施例では音響光学変調器の駆動の断続によって、周波数シフト量の組み合わせとして(0, +200MHz)を得ているが、+1次回折光と-1次回折光の組み合わせを利用して例えば(+100MHz, -100MHz)とすることや、デッドゾーンの幅が狭い場合には、例えば(+150MHz, +200MHz)のように変調周波数を変えて実施することもできる。

【0081】本実施例の周波数追従制御部5では、そこで扱われる信号の周波数の関係を単純に明示できるように、オフセット周波数発振器54と位相比較器55を用いた構成を示したが、ヘテロダイン信号の分周や周波数変換など、通常の電気信号に対する処理を利用してもよい。また、周波数追従制御に要求される精度によっては、位相比較器55の代わりに周波数比較器を用いることや、 $f - V$ (周波数-電圧)変換器をオフセット周波数発振器54と位相比較器55の代わりに利用する構成なども可能である。

【0082】以上本発明の実施例を、側帯波発生のためにコム発生器を用いたものについて述べたが、図5及び6を参照して、側帯波発生のために短光パルス光源を用いる場合について簡単に説明する。

【0083】この場合に用いる短光パルス光源は強制モード同期の短光パルス光源である。

【0084】従来の技術の欄で述べたように、本質的にはコム発生器と同様に考えればよいが、短光パルス光源の場合は、これも従来の技術の欄で述べた、周波数基準光を注入光として用いるか、参照光として用いるかの2通りがある。

【0085】図5は、短光パルス光源に周波数基準光を注入光として用いた場合を示す図である。図において、側帯波発生部2としての短光パルス光源部200は、周波数基準光源1からの周波数基準光を注入光として用いた短光パルス光源201と発振器202とを備えている。この場合は、注入光の周波数に側帯波発生手段としての短光パルス光源201の出力光のキャリアの周波数が引き込まれる。

【0086】図6は、短光パルス光源に周波数基準光を参照光として用いた場合を示す図である。図において、側帯波発生部2としての短光パルス光源部200は、周波数基準光源1からの周波数基準光を参照光として用いた短光パルス光源201と発振器202と周波数追従制御手段203とを備えている。この場合は、周波数基準光は周波数追従制御手段203に入力され、側帯波発生手段としての短光パルス光源201の出力光のキャリアまたは側帯波との周波数差が一定となるように短光パルス光源201が周波数追従制御される。

【0087】

【発明の効果】本発明に係る周波数可変レーザ光源装置は、周波数基準光を出力する周波数基準光源1と、該周波数基準光源からの光を受けて、該周波数基準光の複数の側帯波を有する光を発生する側帯波発生部2と、光周波数が制御可能とされた周波数可変光源3と、該周波数可変光源の出力光を入力光として受けて、前記入力光を変調し、光周波数が前記入力光の周波数より第1の所定幅シフトした第1のシフト光及び前記入力光の光周波数より第2の所定幅シフトした第2のシフト光のうち一方を選択して出力する光周波数シフト部4と、オフセット周波数が可変であり、前記側帯波発生部が出力する複数の側帯波を有する光と前記光周波数シフト部の出力光とから得られるヘテロダイン信号の周波数が設定されたオフセット周波数になるように前記周波数可変光源の周波数追従制御を行うとともに、前記周波数追従制御の制御極性が切り換え可能である周波数追従制御部5と、前記周波数可変光源の出力を所望の周波数とするために、前記周波数追従制御部のオフセット周波数及び制御極性を設定し、かつ、前記光周波数シフト部のシフト光の選択を制御する制御部6とを備え、もって、前記周波数可変光源の出力光を出力光とするものであるから、側帯波発生部の使用に伴うデッドゾーンの問題点を回避して、①出力光の周波数精度、周波数安定度、設定分解能に優れ、②周波数可変範囲が広く、かつ、③前記周波数可変

範囲内で任意に周波数を設定または掃引できる周波数可変レーザ光源装置を実現できた。

【0088】また、本発明の第二の実施の形態のように複数の周波数可変光源を利用することができ、各々を独立に周波数設定することが可能であり、WDM通信の光源等への応用が可能な周波数可変レーザ光源装置を実現できた。さらに、このような構成においては、複数の出力光が、一つの周波数基準光に対して側帯波発生や周波数追従制御を介して安定化されているため、この出力光間の相対的な周波数ゆらぎを、複数の周波数基準光源の間の相対的な周波数ゆらぎ（10⁻⁹程度）に対して2桁程度小さくすることができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施の形態を示す図である。

【図2】本発明の第二の実施の形態を示す図である。

【図3】本発明の第一の実施例を示す図である。

【図4】本発明の第一の実施例について周波数設定の原理を示す図である。

【図5】短光パルス光源に、周波数基準光を注入光として用いた場合を示す図である。

【図6】短光パルス光源に、周波数基準光を参照光として用いた場合を示す図である。

【図7】従来の周波数可変レーザ光源装置の構成を示す図である。

【図8】従来の周波数可変レーザ光源装置の構成を示す図である。

【図9】出力光の周波数設定のデッドゾーンを説明するための図であり、(a)は側帯波近傍、(b)は側帯波間の中央付近での問題点の説明図、(c)はデッドゾーンを示す図である。

【符号の説明】

1 周波数基準光源

2 側帯波発生部

3, 3a, 3b 周波数可変光源

4, 4a, 4b 光周波数シフト部

5, 5a, 5b 周波数追従制御部

6, 6a, 6b 制御部

7 分波器

11 周波数基準光源

20 コム発生部

21 コム発生器（光周波数コム発生器）

22 マイクロ波発振器

30 スレーブ光源部

31 周波数可変光源

33 周波数追従制御手段

41 音響光学変調器

42 発振器

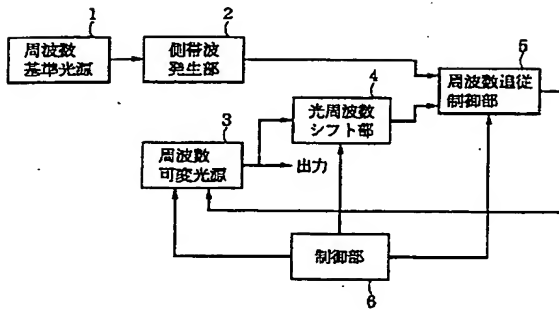
43 光スイッチ

51 合波器

52 受光器

- 53 フィルタ (LPF)
 54 オフセット周波数発振器
 55 位相比較器
 200 短光パルス光源部

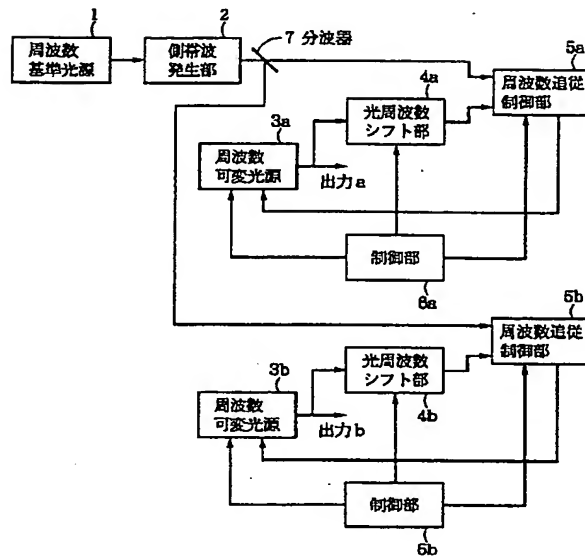
【図1】



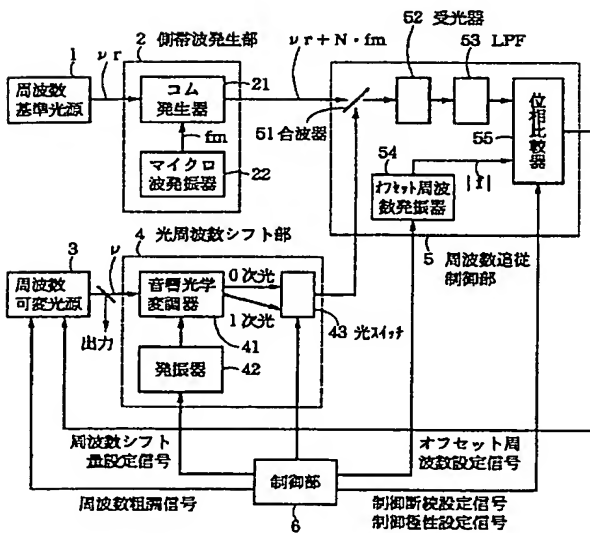
- * 201 短光パルス光源
 202 発振器
 203 周波数追従制御手段

*

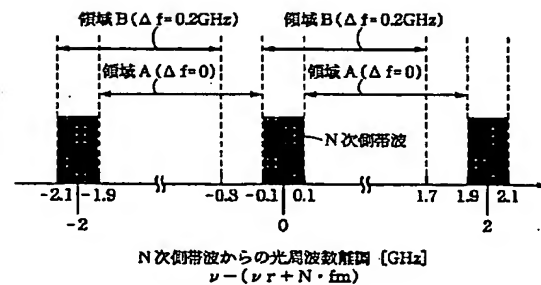
【図2】



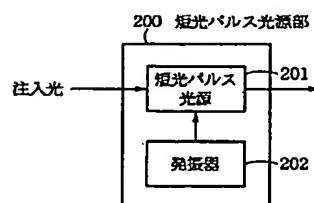
【図3】



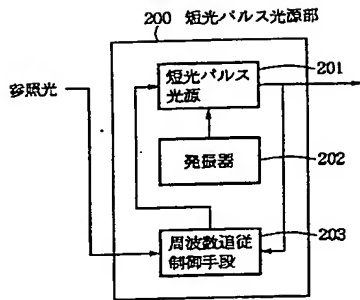
【図4】



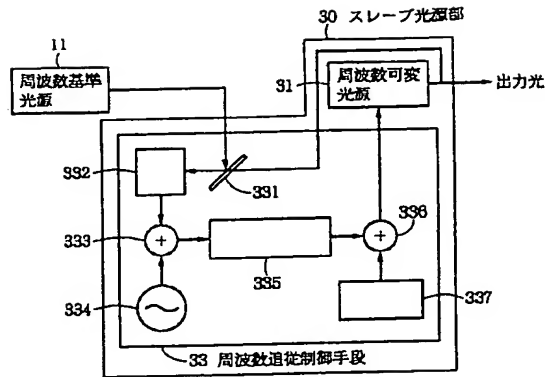
【図5】



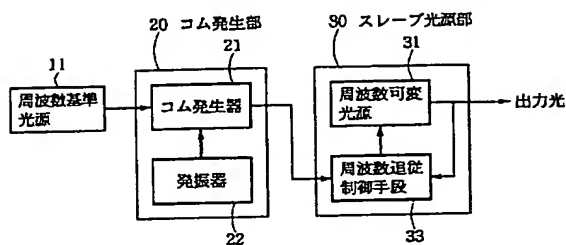
【図6】



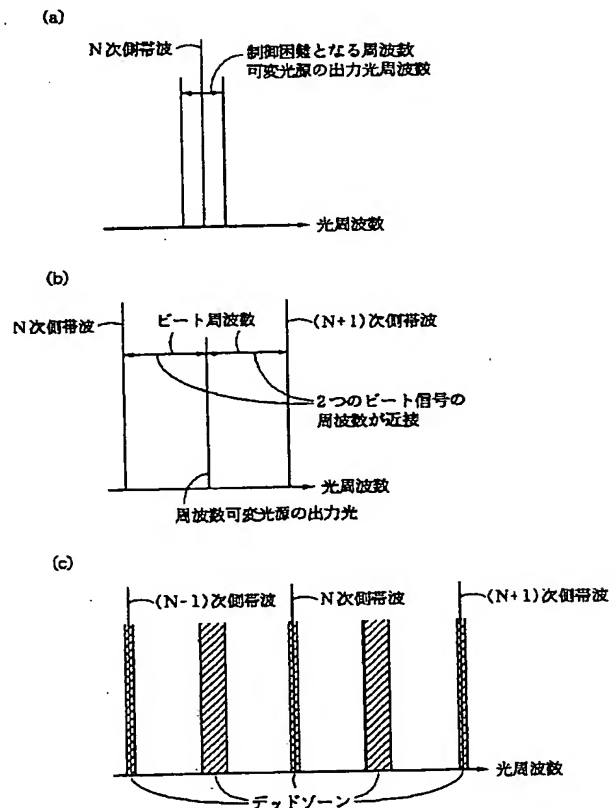
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 手島 光啓
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2K002 AA02 AA04 AB12 BA01 BA12
CA13 EA30 EB15 GA10 HA00
HA10
5F072 AB13 HH05 JJ20 KK01 KK30
RR01 YY11 YY20
5F073 AB21 AB29 BA01 BA09 EA29

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images problems checked, please do not report the problems to the IFW Image Problem Mailbox